

放射光科学研究施設の現状と将来計画報告

Present status of the Photon Factory and its future plans

村上洋一 KEK・物質構造科学研究所・放射光科学研究施設

Photon Factory(PF)は、1983年に大学共同利用を開始して以来、国内外の放射光科学の発展を支え続けて来ました。この約10年間は、X線ビームライン(BL-1A, 3A, 15A, 17A)および、VUV/軟X線ビームライン(BL-2A, 13A/B, 16A, 28A/B)の改造を進めてきました。その結果、これらのビームラインでは、世界的にも競争力を保てる状況が作り出せたと考えています。今年度からはBL-19の整備を行い、走査型透過X線顕微鏡などを配備することにより、産学連携によるイノベーション創出を推進する予定です。一方、PF-ARにおいては直接入射路が完成し、入射の自由度が増すと共に、Top-up運転も視野に入れることができるようになりました。AR-NW2AにXAFS-CTによる3次元化学状態ナノイメージングを実現するビームライン・装置の整備が完了しました。

現在、年間でユーザー数は約3,000人、有効課題数は約800課題に達していますが、この数年間、ユーザー数・有効課題数ともに、やや頭打ち状態になっています。その原因は、PFプロジェクト経費の急激な減少や電気単価の値上がり等により加速器運転時間が減少しており、ユーザーに十分なビームタイムを供給することが難しくなっているためです。今後益々、自動測定などによるビームタイムの効率的利用を進めていくとともに、産業利用促進などを含めた様々な工夫により、ユーザー実験時間を確保していきたいと思えます。

PFにおける挿入光源・ビームライン・実験装置の整備は、様々な競争的資金などを導入しながら継続的に行って来ました。しかし、光源性能という観点からは、世界の先端的高輝度光源と比べると、国際的な競争力を失いつつあると言わざるを得ません。このような状況を受け、2014年に物構研は、その運営会議の下にPF将来計画検討委員会を設置しました。同委員会は、短・中期計画と長期計画として、それぞれ蓄積リング型とライナック型の二種類の光源の実現を目指すべきであると結論しました。一方、PF User Association(PF-UA)は、PF-UA白書の中で、世界最先端の蓄積リング型高輝度放射光源の早急な実現を提言しています。このような経緯によりPFは、PF-UAからの全面的な協力を得て、2016年度には、ボトムアップの提案を基に作られた最先端放射光施設(KEK放射光)の概念設計書を作成しました。今後さらに検討を進め、日本全体の放射光科学のグランドデザインを考慮し、必要に応じてKEK放射光の内容や位置付けも常に見直ししながら、PF将来計画の着実な実現に向けて最大限の努力をしていきたいと考えています。そのためには、全日本的な連携・協力体制を構築・強化すると共に、現施設であるPFとPF-ARの整備・運営を安定的に行っていく必要があると考えています。

低速陽電子実験施設報告

Present Status of the Slow Positron Facility

兵頭俊夫、望月出海、永井康介
KEK-放射光 低速陽電子

低速陽電子実験施設(SPF)は、電子・陽電子入射器棟南端(KEKB/PF/PF-AR 用のリニアック列の最上流部)にあり、リニアック列から独立した専用リニアック(～50 MeV, 600 W)で加速された電子ビームを用いて世界最高クラスの高強度低速陽電子ビームを生成し、共同利用に供している(下図)。

SPFのビームラインは 1 本だが、途中で分岐して、共同利用グループのビームタイム毎にステーションを切り替えて利用している。現在稼働中のビームライン分岐:ステーションは、SPF-A3:全反射高速陽電子回折(TRHEPD)ステーション、SPF-A4:低速陽電子回折(LEPD)ステーション、SPF-B1:低速陽電子ビーム汎用ステーション SPF-B2:ポジトロニウム飛行時間(Ps-TOF)ステーションである。LEPD ステーションは本年度はじめに立ち上がった。

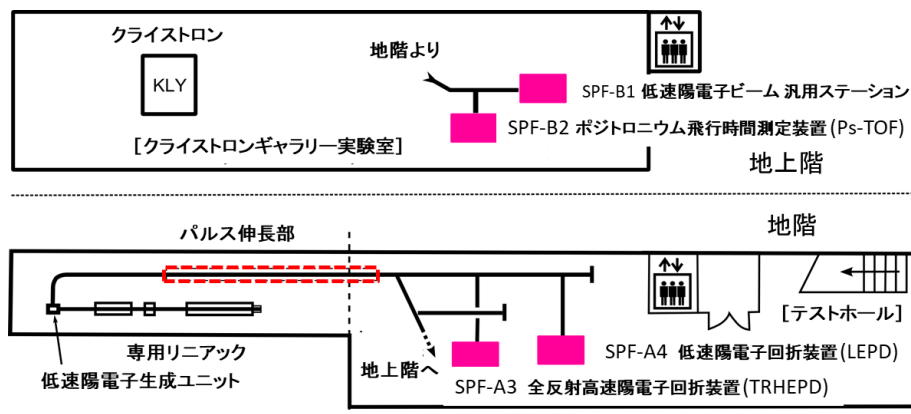
2017 年度の共同利用実施課題数は 16 課題、共同利用実人数は 41 名、ユーザー実験の配分時間は 3199.2 時間、うち調整は 48 時間であった。

TRHEPD ステーションでは、様々な物質の表面構造(原子配列)の解析を進めている。本年度は、スピントロニクス材料応用が期待されている Mn/Si(001)表面や、触媒担体材料として重要なアナターゼ型 $\text{TiO}_2(001)$ 表面、Ag(100)上のバナジウム酸化物超薄膜、新奇な 2 次元電子状態や超伝導を発現する 2 層グラフェン層間化合物、さらには最近合成されたシリセン、ゲルマネン、スタネンなどの測定を行った。

LEPD ステーションでは立ち上げから運用に移行し、陽電子回折表面ホログラフィ解析を目的として、Ge(001)(1×2)表面のLEPDパターンの入射エネルギー依存性の測定を開始した。

汎用ステーションでは、ポジトロニウム負イオン(Ps^-)関連実験が一旦終了したので、ポジトロニウム(Ps)のレーザー冷却の実験を開始した。

Ps-TOF ステーションでは、Si と Geについて、ドーパ型の違いによるポジトロニウム放出の温度依存性の測定を開始した。



大学共同利用機関としての物構研の将来像 Future Perspectives of IMSS as One of the Inter-University Research Institutes

小杉信博
分子科学研究所

当初、大学共同利用機関は研究者コミュニティによって運営され、国立大学の研究者に共同利用・共同研究の場を提供する文部省直轄の研究機関として作られた。1971 年創設の高エネルギー物理学研究所もそのひとつであったが、1997 年、東京大学の原子核研究所、理学部附属中間子科学研究センターと統合された際、新たな 2 つの大学共同利用機関である物質構造科学研究所（物構研）と素粒子原子核研究所（素核研）を含む高エネルギー加速器研究機構（高エネ機構）が創設された。当時、機構としては 2 番目で、1 番目は 1981 年創設の岡崎国立共同研究機構（分子科学、基礎生物学、生理学の 3 つの大学共同利用機関を含む）であった。その後、2004 年の国立大学法人化の際に、各大学共同利用機関が 4 つの機構（＝法人）にまとめられた。その際、高エネ機構だけがそのまま法人化した。

各大学共同利用機関はすべて創設後 20 年～30 年以上経っている（その母体となった組織の期間を含め）。今では国立大学の状況は大学共同利用機関の創設当時のものと大きく変わっており、大学共同利用機関は旧態然とした共同利用拠点ではなく、独立した先端的研究機関として自己改革していくことが求められている。特に、大学の機能分化に対応して、研究型大学の研究力強化や国際化を主導することや新たな研究分野を開拓して新たな研究者コミュニティを育成していくことが強く求められている。物構研は、大学共同利用機関として創設 20 年周年を昨年、祝ったが、「物質構造科学」を主導する研究機関であり、高エネ機構の加速器技術を活用できる優れた環境下にある。（必ずしも加速器ありきというわけではない。この点は素核研も同様である。）「物質構造科学」を支える研究施設として、これまで PF の貢献が大きかったが、最近は、J-PARC/MLF による中性子科学、ミュオン科学の貢献が大きくなっている。今後、物構研の存在感を高めるためにも、これらの量子ビームを併用した新たな研究分野を明確にして、国際的に先導していくことが不可欠であり、また、その裏付けになる現有の研究基盤の高度化等は適正予算規模の範囲で計画的に進めていくことが重要である。

PF リングと PF-AR の運転報告

Operational Status of the PF-ring and PF-AR

高井 良太
KEK 加速器第七研究系

フォトンファクトリー(PF)で稼働中のPFリングとPF-ARは、多くの改造と不断のメンテナンスにより、利用開始から 30 年以上が経過した現在でも年間 3,000 名を超えるユーザーに安定な放射光を提供し続けている。しかしながら、ここ数年はプロジェクト経費の削減や電気単価の高騰により、十分な運転時間を確保することが難しい状況となっている。特に、2017 年度は4リング同時入射実現に向けた入射器の改造期間が約 5 ヶ月設けられたため、大幅な運転時間の減少が危惧されていたが、運転スケジュールの工夫や追加予算の充当により、PFリングではおよそ 3,000 時間、PF-AR ではおよそ 2,100 時間のユーザータイムを確保することができた。

PFリングでは、夏季のメンテナンス期間を利用して大型のビームダクト2台の真空リーク対策を行った。1台は BL-14 の光源である超伝導ウィグラー(VW#14)のビームダクトで、これまではリークが発生する度に液体シール材による応急処置を施して利用を継続してきたが、これ以上の利用は危険と判断し、昨年度の秋期運転終了後から同ウィグラーをシャットダウンしてダクト交換の準備を進めていた。交換作業はウィグラー本体を動かさずに周辺の電磁石やビームダクトを撤去する形で進められ、現場での切削や溶接を含む大掛かりなものとなったが、周到的な準備と工程管理により無事完了した。ビーム運転開始後の真空焼き出しにやや時間を要したが、当初の予定どおり秋期運転の初めから BL-14 の利用を再開できた。もう1台はリングの入射点に設置されているセプタムチェンバーである。2015 年 4 月に内部の冷却水配管からリークが発生し、こちらも液体シール材による応急処置でしのいできたが、今回の作業で直上流のビームダクトに長めの光アブソーバを追加した。これによりセプタムチェンバーへの入熱が大幅に減少し、同配管を真空引きした状態で運転できるようになった。アブソーバの先端が蓄積ビームから 15 mm の位置まで近付くためビームの入射効率への影響が懸念されたが、入射パラメータの調整だけで前期と同様の効率を再現することができた。根本的な対策として新しいセプタムチェンバーの設計も進めている。

PF-AR では、昨年度完成した新入射路を使用したユーザー運転が開始された。6.5 GeV でのフルエネルギー入射が可能になったことにより、これまでビームの入射と加速に要していた時間が大きく短縮された。また、トップアップ運転導入に向けた安全インターロックの改修や放射線サーベイも順調に完了し、既にメインビームシャッター開での積み上げ入射が実施されている。

ビームライン報告

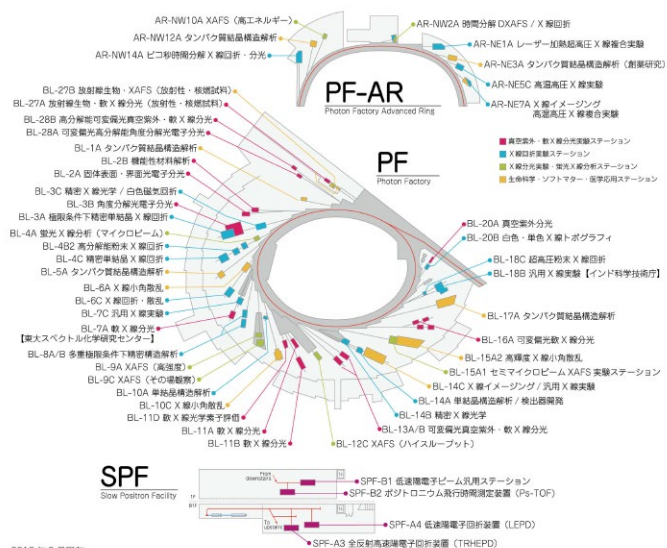
Present Status of Beamlines

雨宮健太・KEK 物質構造科学研究所・放射光科学研究施設

現在、放射光科学研究施設において、PF では 39 本、PF-AR では 8 本のビームラインが、また、低速陽電子実験施設(SPF)では 1 本(4 分岐)のビームラインが、それぞれ共同利用を行っています(下図)。しばらくの間、新しいビームラインの建設はありませんでしたが、2017 年度より、大学共同利用機関法人に係る重点支援として「放射光施設ビームラインを活用した産業界等におけるイノベーション創出の推進」が採択され、その柱となる軟 X 線ビームライン BL-19 の建設がスタートしました。新 BL-19 は、100–2000 eV 程度の軟 X 線を供給する可変偏光アンジュレータを光源とし、一つのブランチに走査型透過 X 線顕微鏡を常設するとともに、もう一つのブランチをフリーポートとして、装置開発等にも利用できるようにする予定です。スケジュールとしては、2018 年の夏にアンジュレータとビームラインを設置、第 2 期より立ち上げ・調整を開始し、順調に進めば 2018 年度中に共同利用を開始したいと考えています。

放射光科学研究施設では最近、学術利用を中心とする共同利用に加えて、産業利用に対する取り組みを強化しております。従来から、主に企業ユーザーを対象とした、施設利用や共同研究といった制度はありましたが、必ずしも放射光利用に精通していない方の利用を促進するために、利用支援や代行測定・解析といった有料のオプションも開始しています。また、2018 年度には試行的に、産業利用の収入を原資として、通常予算によるビームタイムに追加する形で、「産業利用促進運転」を行う予定です。

上述の通り、PF、PF-AR、SPF には計 50 本のビームラインがあります。これらのビームラインの特徴やアクティビティを把握し、今後に向けた基礎資料とするために、2017 年夏の長期シャットダウンを利用して、所内で「ビームライン活動報告会」を開催しました。ビームラインごとに、装置の状況やユーザーの動向とともに、論文数はもちろん、それらの被引用数も含めて調査を行いましたので、今後、ユーザーの皆様とも情報を共有し、将来を見据えた戦略を立てていきたいと考えています。



将来光源の R&D の現状

Current Status of R&D for the Future Light Source

坂中章悟・高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

KEK では PF および PF-AR の後継機となる将来光源に向けた検討・研究を着実に進めている。KEK 放射光計画については、2016 年 10 月に概念設計報告書を公開し、2017 年 4 月に KEK-LS Machine Advisory Committee (MAC) で評価とアドバイスを受けた。KEK-LS MAC では、より高性能でアグレッシブなラティス(磁石配列)設計を目指すべき事や、より先進的なシミュレーション技術を採用して高度な最適化を行うべき事、などが勧告され、その方向で加速器の設計研究を継続している。

次世代の高輝度光源リングを建設するために必要な要素技術の研究開発も着実に進んでいる。KEK-LS の Multi-Bend Achromat (MBA)ラティスを構築する為には、縦方向に磁場勾配のある偏向電磁石(LG ベンド)や横方向に磁場勾配のある偏向電磁石(コンバインド・ベンド)が必要となる。真空ダクトの内径は 25 mm 以下となるため通常の真空ポンプでは超高真空を得ることができず、ダクトの内面に非蒸発型ゲッター(NEG)コーティングを成膜することにより排気する。この NEG コーティングの技術も、CERN 等との共同研究で開発中である。また、3 次高調波空洞を導入してバンチ長を伸ばし、バンチ内散乱によるエミッタンス増大の抑制をする必要があり、そのための効果的な手法の検討や高調波空洞の設計研究を行っている。その他、挿入光源で多極磁場成分を補正する方法の開発や、高輝度光源建屋の基礎構造に関する検討も行っている。本発表では、これらの R&D の現状について報告する。

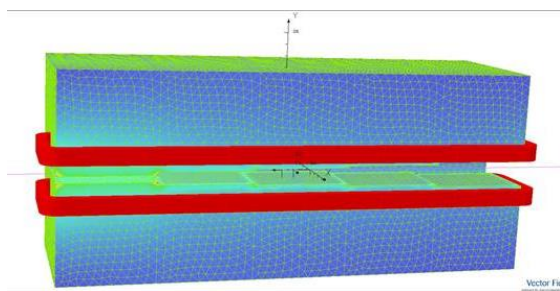


図1 縦方向勾配付き偏向電磁石

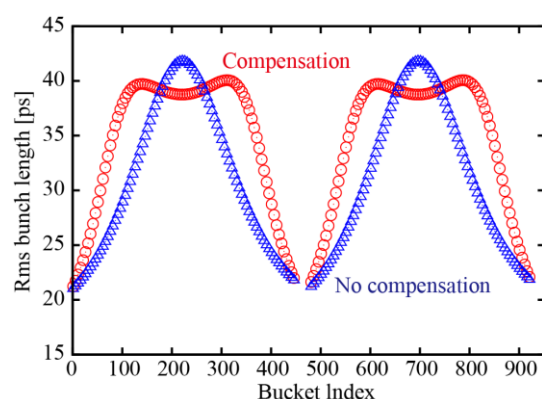


図2 高調波空洞と電圧補償法を用いたバンチ伸長方法の検討[1]。

[1] N. Yamamoto *et al.*, Phys. Rev. Acc. Beams **21**, 012001 (2018).

ビームライン・設備関連の R&D

R&D of the beamline and the related facilities for the next synchrotron light source.

五十嵐教之
KEK-放射光

PF リングは利用開始から 35 年が経過し、設備や装置の老朽化と光源性能の限界から、抜本的な対策が切望されている。放射光科学研究施設では、2015 年より次期計画についての検討会を定期的に行い、コンセプトや必要な施設、設備、及び要素技術の検討を進めてきた。2016 年には、PF-UA と協力し、KEK 放射光計画の CDR を作成し、国際諮問委員会や日本放射光学会のレビューを受けるなど、施設内外で将来計画の議論を深めてきている。2016 年からは、計画に必要な要素技術について、技術的な裏付けをさらに進めるために、光源とビームライン、及びそれに付随する施設や設備について R&D を開始した。

ビームラインの R&D としては、現在 KEK 放射光計画を含む国内外で提案されている超低エミッタンス光源を想定し、大きく分けて光学系設計、振動対策、熱負荷対策、ビーム制御、真空技術の 5 つの項目について検討を進めている。特に、振動対策と熱負荷対策については、超低エミッタンス光源の高輝度性やコヒーレンス性を活かすためには必須な技術であり、優先的に進めることを考えている。まず 2016 年には、高輝度放射光源施設基礎構造検討のためのビームライン振動試験、*in situ* 分光器平行度測定法の開発、空調用ソックフィルタのテスト、挿入光源と分光器の高速同期システムの開発、熱接触抵抗の評価及び改良、静的真空系の開発、表面汚染除去法の開発などを実施した。2017 年にはさらに項目を増やし、液体窒素フェーズセパレータの開発、ピエゾ素子を使った分光器の振動評価、GLIDCOP 直接水冷ミラーの試作などを開始した。また、R&D 項目として明示的には挙げていないが、将来に繋がる開発として、ビーム位置制御システムやリアルタイム実験環境計測システムの開発、次世代インターロックシステムなども定常的に進めている。現在これらに加えて、FZP とコンパクトな KB 光学系や高／低エネルギーを切り分けて考えた小型二結晶分光器の設計、二結晶分光器テストベンチによる熱負荷の定量的な評価、回折格子を使った波面計測、等について検討を開始している。これらの R&D は、現在準備が進められている SLiT-J 計画や SPring-8-II 計画、さらには今後さらに進展が望まれる X 線レーザー施設でも必要な技術であると考えられ、広く活用することも考えて開発や検討を進めたい。

今回の発表では、ビームライン・設備関連 R&D の全体計画の概要と、各 R&D 項目の現状について紹介したい。